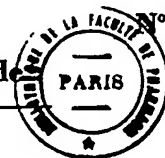


BREVET D'INVENTION

P.V. n° 893.507

Classification internationale



N° 1.319.182

H 011

Procédé et appareil pour fabriquer des organes semi-conducteurs.

Société dite : WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED résidant aux États-Unis d'Amérique.

Demandé le 5 avril 1962, à 17 heures, à Paris.

Délivré par arrêté du 14 janvier 1963.

(Bulletin officiel de la Propriété industrielle, n° 8 de 1963.)

(Demande de brevet déposée aux États-Unis d'Amérique le 13 avril 1961, sous le n° 102.741, au nom de M. William WIEGMANN.)

La présente invention se rapporte à la fabrication d'organes semi-conducteurs et plus particulièrement à des procédés et à des appareils pour délimiter des dessins circulaires et annulaires concentriques de très petites dimensions sur les surfaces de corps semi-conducteurs.

L'utilisation, pour définir des zones limitées destinées à être soumises à un traitement par alliage ou par diffusion, de dessins variés sur les surfaces d'une matière semi-conductrice est bien connue. Une configuration géométrique particulièrement désirable pour réaliser à la fois des diodes et des transistors fait intervenir un dessin annulaire qu'il est difficile, sinon impossible, de produire en utilisant un cache pour empêcher un dépôt à partir de vapeur ou par exposition d'un revêtement photosensible.

L'invention a pour buts :

D'améliorer la fabrication d'organes semi-conducteurs ;

De simplifier à la fois les procédés et les moyens pour produire des dessins annulaires sur des corps semi-conducteurs. A cet égard, le procédé selon l'invention peut être utilisé pour produire des électrodes formant des dessins annulaires et circulaires concentriques par dépôt de métal ou des dessins de masquage annulaires et circulaires soit par dépôt de matière de masquage soit par exposition contrôlée à une radiation. Ces deux modes de production d'un dessin peuvent être groupés dans l'expression « sources délimitant un dessin ».

Des appareils types pour mettre en pratique l'invention comprennent un cache de matière appropriée percé d'un réseau de trous ronds régulièrement espacés. Le cache est fixé près de la surface d'une tranche de matière semi-conductrice mais de façon à être écarté de cette surface. Cet assemblage d'un cache, d'une pièce d'espacement et d'un semi-conduc-

teur est monté ensuite dans une monture qui permet une rotation dans le plan des deux éléments autour d'un axe perpendiculaire au point central du cache et de la tranche. Une source à évaporation est placée à une distance appropriée du cache et loin de l'axe de rotation. La source à évaporation, par exemple, peut être un petit filament chauffant portant une matière tel que du protoxyde de silicium. On fait tourner lentement l'assemblage du cache et de la tranche, l'appareil tout entier étant enfermé dans un récipient approprié et le filament chauffant étant traversé par un courant pour volatiliser le protoxyde de silicium. Pendant la rotation lente de l'assemblage, la source de vapeur étant immobile, le protoxyde de silicium se dépose à travers le cache sur la surface du semi-conducteur suivant un réseau d'anneaux, un anneau correspondant respectivement à chaque trou du cache. En d'autres termes, au fur et à mesure que la monture tourne, la source de vapeur étant immobile, chaque trou du cache produit, en fait, le tracé d'un anneau de protoxyde de silicium à partir de la source décalée sur la surface de la tranche semi-conductrice. Selon une variante, la monture peut être maintenue immobile et la source peut être déplacée autour de l'axe de rotation pour produire le même résultat. Cette variante d'arrangement présente plus de difficultés, toutefois.

Si on désire un point circulaire concentrique à un anneau et écarté de celui-ci, ainsi qu'il a été exposé précédemment, on emploie une seconde source de vapeur sur l'axe de rotation de l'assemblage. Un tel arrangement est utile pour le dépôt d'électrodes métalliques sur certains types de transistors. Cet arrangement fondamental peut être employé aussi pour provoquer le tracé d'un dessin de forme annulaire sur une surface par rayonnement, par exemple un revêtement photo-sensible pour per-

mettre le développement d'un dessin annulaire dans un revêtement respectif.

Ainsi, une caractéristique de l'invention réside dans l'emploi d'une monture de masquage tournante pendant l'exposition d'une surface à traiter à une source de vapeur ou de rayonnement. En particulier, le cache et la pièce traitée tournent ensemble en contraste avec des arrangements connus dans lesquels seul le cache ou la pièce à traiter est déplacé pour produire un effet d'obturation.

On décrira ci-après l'invention en se référant au dessin annexé dans lequel :

La figure 1 est une représentation schématique partiellement en coupe d'un appareil pour mettre en pratique un mode d'exécution de l'invention;

La figure 2 est une vue en plan d'une tranche de matière semi-conductrice à la surface de laquelle des dessins ont été produits par l'appareil de la figure 1;

La figure 3 est une coupe à travers la tranche semi-conductrice de la figure 2; et

La figure 4 est une coupe du transistor formé à partir d'une partie de la tranche semi-conductrice représentée sur les figures 2 et 3.

La figure 1 représente schématiquement les éléments fondamentaux de l'appareil pour mettre en pratique le principe de l'invention. Une tranche rectangulaire 11 de silicium semi-conducteur contenant des jonctions P.N. qui ont été formées antérieurement par diffusion est montée au moyen d'un simple arrangement de fixation dans la monture d'assemblage 12. Un cache 13 perforé qui est séparé de la tranche de silicium par une entretoise 14 est aussi fixé dans la monture. Comme le montre la représentation schématique, cette monture d'assemblage 12 est montée à rotation au moyen d'un pailier de butée 15 résistant à la chaleur, en carbone par exemple, sur un élément de base 16. Il est prévu de produire une rotation relativement lente de cette monture au moyen d'un moteur 17 d'entraînement par l'intermédiaire d'une courroie 18. On peut concevoir différents autres arrangements pour monter le cache perforé tout près de la tranche de silicium et pour permettre la rotation de la monture. On a adopté l'arrangement représenté sur la figure 1 pour faciliter l'illustration.

Poursuivant l'explication des principes de l'invention, deux sources de vapeur produite par évaporation pour former la matière à déposer sont représentées schématiquement par des petits creusets; un élément chauffant électrique étant associé à chacun des creusets. Une source à évaporation 21 est représentée sur l'axe de rotation de la monture d'assemblage 12. La seconde source à évaporation 22 est représentée éloignée de l'axe de rotation mais sensiblement à la même distance du cache perforé. Le cache en métal, qui peut être par exemple en nickel,

est percé de neuf petits trous circulaires régulièrement espacés. Dans les procédés dans lesquels on change la température en passant d'une évaporation à l'autre à des fins d'alliage, le cache peut être fait en molybdène qui a sensiblement le même coefficient de dilatation thermique que le silicium. Quand la monture d'assemblage 12 tourne lentement, ces petits trous déterminent les parties de la surface du silicium sur lesquelles la matière évaporée, en particulier à partir de la source 22, se déposera.

Dans un appareil de dépôt à partir de vapeur du type représenté sur la figure 1, l'arrangement tout entier est avantageusement enfermé dans une chambre vidée de gaz non représentée. Par exemple, dans la fabrication d'un transistor à jonctions formées par diffusion, la tranche de silicium a été soumise préalablement à deux traitements thermiques de diffusion pour produire la zone de base 23 du type *n* et les zones d'émetteur 24 du type *p*. En particulier, ainsi qu'on l'expliquera plus complètement ci-après, les zones d'émetteur formées par diffusion peuvent être délimitées avec précision en utilisant les principes de l'invention. Toutefois, dans le cadre de cette partie de l'explication, on suppose que la tranche contient déjà les zones de base et d'émetteur formées par diffusion et que, telle qu'elle est montée dans la monture, elle est prête à recevoir les électrodes métalliques en contact avec les zones de base et d'émetteur.

La chambre logeant l'appareil est purgée et vidée de gaz, par exemple à 10^{-6} millimètres de mercure environ, conformément à des techniques bien connues des spécialistes. La monture étant immobile, la première source à évaporation 21 est mise en action et de la matière provenant de cette source, par exemple de l'aluminium, se dépose à travers les trous du cadre, produisant un réseau de points circulaires sur la surface du silicium. Ainsi, chaque trou du cache délimite une colonne de vapeur provenant de la première source 21 qui touche la surface du silicium suivant une configuration circulaire. On comprendra aisément que le trou 19 du cache qui se trouve sur l'axe de rotation produit un point circulaire parce que la source 21, le trou 19, et le point de matière déposé sont tous sur l'axe de rotation. De même, lorsque la distance entre la source et le cache est grande en comparaison avec l'espacement entre le cache et la surface du semi-conducteur et avec la distance entre le trou central et les trous, non situés au centre, des points circulaires d'aluminium déposé sont produits aussi par ces trous non situés au centre dans le cache.

Après la fin du dépôt d'aluminium et sans qu'on change la pression à l'intérieur de l'enveloppe, la seconde source à évaporation 22 est mise en action et on fait tourner maintenant lentement la monture d'assemblage 12 à une vitesse de 10 à 20 tr/

mn. La matière provenant de la source 22, qui est par exemple de l'or et une petite proportion d'antimoine (0,5 % à 1,0 %), est déposée, lorsque la monture tourne, suivant un réseau d'anneaux concentriques aux points d'aluminium déposés antérieurement. On pourra comprendre plus facilement la formation de ces anneaux en examinant la formation de l'anneau central 20 qui a pour axe l'axe de rotation. Au fur et à mesure que la monture 12 tourne, la matière provenant de la source à évaporation 22 non située sur l'axe se dépose sur une zone annulaire 20 concentrique au point central. Bien qu'il soit un peu plus difficile de se le représenter, on obtient un dépôt annulaire semblable concentrique à chaque des autres points circulaires par collimation à travers les autres trous du cache.

Le temps nécessaire pour le dépôt du réseau d'anneaux et de points dépend beaucoup de la nécessité d'évaporer une quantité relativement grande de matière pour le contact annulaire. On peut se rendre compte qu'il en est ainsi en considérant que seule une petite partie de chaque anneau est alignée avec la source à un moment donné tandis que la source associée au point central forme continuellement un dépôt sur le point entier pendant tout le processus d'évaporation. D'une manière type, pour produire un anneau de contact en un alliage d'or et d'antimoine ayant une épaisseur de 1 000 angströms, une période d'évaporation de l'ordre de 20 minutes est nécessaire. Toutefois, le réseau de points peut être produit avec une épaisseur comparable en une période inférieure à 5 minutes. La structure produite par le procédé qui vient d'être décrit est représentée par les figures 2 et 3. Bien qu'un réseau de neuf paires de contacts soit représenté, on peut produire un plus grand nombre de paires de contacts en prévoyant des perforations supplémentaires dans le cache ou en modifiant les dimensions du cache et de la pièce à usiner. En outre, d'autres variantes de cette technique sont évidentes, par exemple celle qui consiste à prévoir simplement une seule source à évaporation décalée pour produire seulement l'anneau, ou une troisième source à évaporation peut être adjointe à une plus grande distance de l'axe de rotation pour produire une autre zone annulaire concentrique extérieure à celle qui est représentée sur la figure 2.

On va se référer maintenant en particulier à la figure 3 : on fait chauffer la tranche 30 pendant une courte période pour allier légèrement le métal des électrodes 31 et 32 à l'intérieur de la matière semi-conductrice. Selon une variante, le traitement thermique d'alliage peut être effectué à la fin de chaque dépôt « sans interruption du vide ». On divise ensuite la tranche 30 de matière semi-conductrice de la manière indiquée par les lignes en tireté 33 et 34 en pastilles séparées pour en fabri-

quer des transistors tels que celui qui est représenté sur la figure 4. Comme le montre cette figure, on soumet la pastille 40 à une corrosion pour réduire la surface de la jonction de collecteur 41 et on fixe des fils de connexion 42 et 43 à l'électrode d'émetteur 44 et à l'électrode de base 45. La surface inférieure de la pastille est plaquée, par exemple d'une couche d'or 46 pour le montage en connexion électrique avec un élément dissipateur de chaleur.

On peut se faire une idée de la précision du procédé selon l'invention en considérant les dimensions types. Un côté de la tranche de silicium peut mesurer entre 1,02 cm et 1,25 cm. L'entretoise entre la tranche de silicium et le cache a une épaisseur de 0,13 mm et le diamètre des trous du cache peut être compris entre 0,02 mm et 0,03 mm. Les sources à évaporation sont disposées à 6,98 cm environ du cache et l'espacement entre les trous du cache est de l'ordre de 0,25 cm. Dans un arrangement type, la source à évaporation non située sur l'axe était située à une distance de l'axe de rotation légèrement inférieure à 2,54 cm. Cet arrangement a produit un réseau d'anneaux et de points dans lequel les points avaient un diamètre légèrement supérieur à 0,025 mm et le diamètre de la circonférence extérieure du contact annulaire était de l'ordre de 0,11 mm. L'espacement entre l'anneau et le point était de l'ordre de 0,01 mm. Il importe, dans la réalisation de configurations précises, de maintenir une distance constante entre le cache et la surface du silicium, en particulier en ce qui concerne les dimensions susmentionnées. La distance entre le cache et la tranche ne doit pas varier de plus de 0,005 mm afin d'éviter des variations supérieures à 0,002 mm de l'espacement des anneaux et des points à travers tout le réseau.

En outre, en ce qui concerne la fabrication des transistors par double diffusion décrite précédemment, le traitement préliminaire de la tranche de silicium signalé précédemment comporte d'abord une diffusion d'une impureté du type p, telle que du phosphore, dans une face de la tranche de conductibilité du type n pour produire la zone de base 35 du type p comme on peut le voir sur la figure 4. Un oxyde formé thermiquement est ensuite formé sur la surface du type p de la tranche et cet oxyde est ensuite recouvert d'une photo-réserve. Ces phases de fabrication se succèdent généralement conformément à une technique connue. On place ensuite, dans l'appareil de la figure 1, la tranche de telle sorte que la face recouverte d'un revêtement de celle-ci se trouve en bas, en substituant toutefois une source d'ultraviolet au même emplacement général que la source 22 à évaporation d'or et d'antimoine qui devra être utilisée ultérieurement. Plus particulièrement, la source d'ultraviolet est mise en place à la même distance du cache que les sources à

évaporation mais à une distance légèrement inférieure de l'axe de rotation que la source 22. On excite la source lumineuse et on fait tourner la monture pour exposer des parties de la surface recouverte de la photo-réserve qui correspondent à un réseau de zones annulaires. On dispose ensuite la source lumineuse à une distance légèrement plus grande de l'axe de rotation et on répète le procédé. Ainsi, on produit un réseau exposé de zones annulaires qui ont une étendue légèrement supérieure à celle des zones déposées produites ultérieurement par la source à évaporation 22. Il est évident qu'une variante du procédé consistant à déplacer la source lumineuse d'une position à une autre consisterait à réaliser un déplacement angulaire de la monture 12 entre les expositions.

Après son enlèvement de la monture, la tranche semi-conductrice est traitée ensuite conformément à des techniques générales de façon à enlever le revêtement de photo-réserve sauf sur les zones annulaires développées. Une opération de corrosion enlève ensuite l'oxyde de ces zones exposées après quoi la photo-réserve développée peut être enlevée par lavage. La tranche semi-conductrice présente alors une surface contenant un réseau de zones annulaires masquées par de l'oxyde qui est soumis ensuite à un traitement thermique de diffusion de phosphore qui transforme les parties exposées de la surface en des parties de conductibilité du type n et produit les zones d'émetteur 36 représentées sur les figures 3 et 4. Les parties intermédiaires 37 de la surface soumise à la diffusion ne font pas partie de la structure finale et sont enlevées par l'opération de corrosion qui produit la structure à plateau.

Après cette opération élémentaire de diffusion et de nettoyage de la surface, la tranche est prête pour le dépôt d'électrodes métalliques décrit précédemment. On remarquera que, lorsqu'on utilise le même appareil en plaçant les sources de dépôt et de radiation à des emplacements en rapport l'un avec l'autre, on évite certains problèmes de coïncidence du cache.

Finalement, l'appareil de la figure 1 peut être utilisé pour déposer un anneau d'une matière de masquage. Par exemple, la seconde source à évaporation 22 peut comporter un filament pour volatiliser

du protoxyde de silicium. Cette source étant la seule source de matière à déposer, il se dépose sur la surface de la tranche de silicium un petit anneau d'oxyde qui peut être employé plus spécialement comme cache pour la production par alliage, dans le silicium, de jonctions $p-n$ redresseuses présentant une section de surface limitée telles que celles qui sont particulièrement appropriées à la fabrication de diodes à effet tunnel.

Naturellement, l'invention ne doit pas être considérée comme limitée au mode d'exécution décrit qui n'a été donné qu'à titre d'exemple susceptible de recevoir diverses variantes sans s'écarter du cadre et de l'esprit de l'invention.

RÉSUMÉ

L'invention a pour objet :

A. Un procédé pour former un dessin de matière de contour déterminé sur une surface semi-conductrice, ce procédé étant caractérisé par les points suivants pris séparément ou en combinaisons :

1° Il consiste à placer en contiguïté avec la surface, un cache percé de plusieurs perforations, à faire tourner ensemble le cache et la surface autour d'un axe de rotation sensiblement perpendiculaire à la surface tout en exposant le cache au moins à une source de délimitation de dessin ;

2° La source de délimitation de dessin comprend un moyen pour volatiliser la matière à déposer ;

3° On produit, sur la surface semi-conductrice, un revêtement d'une matière sensible à une radiation en faisant tourner cette surface avec le cache qui est exposé à une source de radiation et on traite ensuite la surface et le revêtement pour développer celui-ci ;

4° Deux sources de délimitation de dessin sont placées sensiblement à la même distance de la surface mais à des distances différentes de l'axe de rotation.

B. Un appareil pour exécuter ledit procédé selon A.

Société dite :

WESTERN ELECTRIC COMPANY, INCORPORATED

Par procuration :

SIMONNOT, RINUY & BLUNDKLL

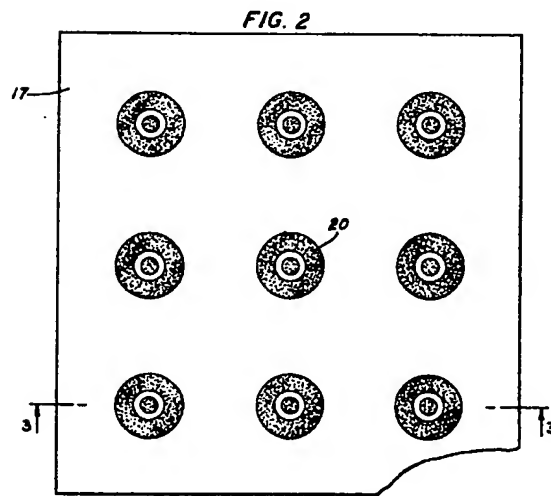
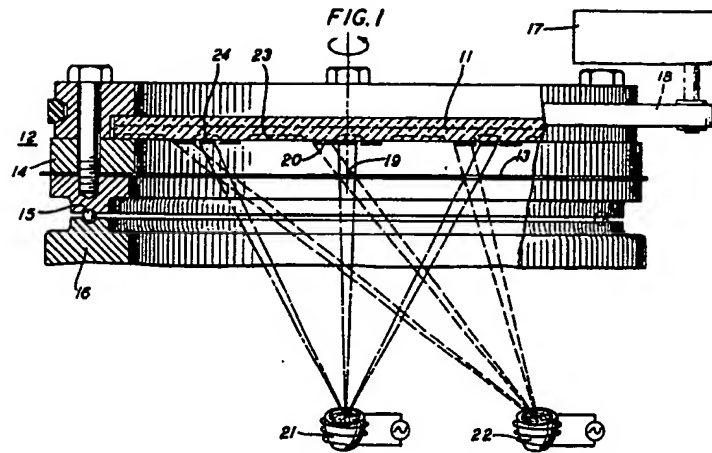


FIG. 3

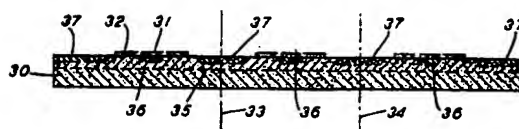


FIG. 4

